



(10) BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

# G brauchsmust rs hrift

(12) DE 299 14 802 U 1

(51) Int. Cl. 7:  
F 16 C 3/02

DE 299 14 802 U 1

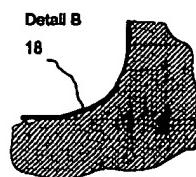
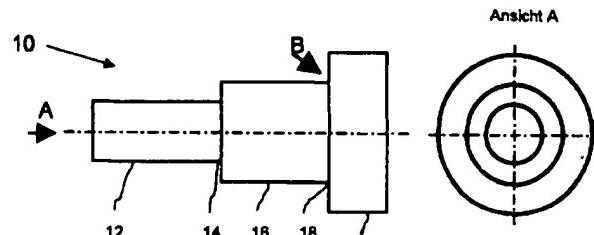
(21) Aktenzeichen: 299 14 802.5  
(22) Anmeldetag: 24. 8. 1999  
(41) Eintragungstag: 23. 12. 1999  
(43) Bekanntmachung im Patentblatt: 27. 1. 2000

(73) Inhaber:

Friederich, Heinrich, Dr.-Ing., 68649  
Groß-Rohrheim, DE; Schmoack, Reinhard,  
Dipl.-Ing., 57250 Netphen, DE

(54) Hochfeste korrosionsbeständige Welle

(57) Einteilige Welle mit im wesentlichen kreisförmigen Voll- oder Hohlquerschnitten unterschiedlicher Durchmesser aus korrosionsbeständigem austenitischem Edelstahl, dadurch gekennzeichnet, dass die Welle teilweise ausscheidungsgehärtet ist.



DE 299 14 802 U 1

26.08.99

**Beschreibung:**

**1. Anmeldungsgegenstand**

Die Erfindung betrifft eine Welle endlicher Länge aus einem Material mit, im wesentlichen, kreisförmigen Voll- oder Hohlquerschnitten unterschiedlicher Durchmesser aus korrosionsbeständigem austenitischem Edelstahl mit bevorzugt im randschichtnahen Bereich der Querschnittsübergänge ausscheidungsgehärtetem Werkstoffzustand.

Durch die partielle Festigkeitssteigerung solcher Wellen aus austenitischen Werkstoffen in der Randschicht, bevorzugt im Bereich der Querschnittsübergänge, beispielsweise durch induktive Ausscheidungshärtung, wird ein Beitrag zur Steigerung der Dauerschwingfestigkeit bei gleichzeitig guter Korrosionsbeständigkeit geleistet.

**2. Stand der Technik**

Bei einer Vielzahl von Anwendungen des Maschinenbaus, werden in Antriebsaggregaten, Motoren etc. zur Übertragung von Momenten sogenannte Wellen eingebaut. Solche Bauteile zeichnen sich im wesentlichen durch kreisförmige Voll- oder Hohlquerschnitt unterschiedlicher Durchmesser über der endlichen Bauteillänge aus. Konstruktionsbedingt müssen diese Wellen, beispielsweise zur Aufnahme und Fixierung der Lagerungs-Elemente, mit einem oder mehreren Querschnittsübergängen ausgeführt werden.

Diese Querschnittsübergänge stellen im Rahmen der Betriebsbeanspruchung solcher Bauteile die versagenskritischen Querschnitte, bzw. Ausgangspunkte des Ermüdungsversagens dar. Denn bei der Übertragung von Momenten mit zeitlich veränderlichen Last-Zeit-Funktionen handelt es sich um dynamische Beanspruchungen. Durch die aus der Betriebsbeanspruchung resultierenden überlagerten Torsions- und Biegebeanspruchungen treten insbesondere im oberflächennahen Bereich dieser Querschnittsübergänge mehrachsige Spannungszustände auf, die infolge der durch die Kerbwirkung hervorgerufenen Spannungsüberhöhung - gegenüber dem glatten Bauteilquerschnitt – den Anrißort bzw. Ausgangspunkt für das Ermüdungsversagen darstellen.

Im Hinblick auf eine konsequente Leichtbauweise kommt diesen Querschnittsübergängen eine entscheidende Bedeutung zu. Es gilt, durch geignete

S. Seite 3 von 10; Zeichen: HFRS2

DE 299 14 602 U1

26.08.09

fertigungstechnische Massnahmen diese versagenskritischen Querschnittsübergänge hinsichtlich ihrer dynamischen Beanspruchbarkeit zu steigern. Dies gelingt im allgemeinen durch die partielle Steigerung der Festigkeit/Härte im randschichtnahen Bereich gegenüber dem glattflächigen Bereich des Querschnitts. Abhängig vom verwendeten Werkstoff wird diese örtliche Erhöhung der Festigkeit durch unterschiedliche Massnahmen erreicht.

Wellen werden alternativ durch spanlose Warm-, Halbwarm- oder Kaltumformung mit abschliessender spanender Endbearbeitung auf Fertigmass hergestellt. Gegebenenfalls, sofern die Endkontur nur unwesentlich vom Vormaterial (in der Regel handelt es sich um Stabstähle mit im wesentlichen kreisförmigem Querschnitt) abweicht, werden solche zur Diskussion stehende Wellen, allein durch spanende Bearbeitung auf Endabmessungen hergestellt.

Die Steigerung der dynamischen Beanspruchbarkeit in den versagenskritischen Querschnitten kann wahlweise durch mechanische oder thermische Fertigungsschritte – gegebenenfalls mittels Kombination – erzielt werden.

Für Wellen die aus nicht korrosionsbeständigen Stählen – im allgemeinen werden niedriglegierte Vergütungsstähle bevorzugt – gefertigt werden, kann – im Anschluss an die formgebende Bearbeitung und eine Wärmebehandlung zur Einstellung einer homogenen Bauteilfestigkeit - durch das sogenannte „Festwalzen“ der Querschnittsübergänge/Übergangsradien eine Härtesteigerung auf mechanischem Wege infolge Kaltverfestigung, verbunden mit der Induzierung von Druckeigenspannungen, in den Querschnittsübergängen ausgelöst werden.

Alternativ kann eine solche Festigkeitssteigerung auf thermischem Wege durch das induktive Härteln – martensitische Gefüge - ausschliesslich in den randschichtnahen Werkstoffbereichen der Querschnittsübergänge der Welle herbeigeführt werden.

In Sonderanwendungen, beispielsweise der chemischen Industrie und der Schiffbau- Industrie oder immer dann, wenn den Anforderungen an die mechanische Beanspruchbarkeit gleichzeitig korrosive Umgebungsbedingungen überlagert werden, sind die hier zur Diskussion stehenden Wellen aus Edelstahl-Vormaterialien zu fertigen.

Bei mässigen Anforderungen an die Korrosionsbeständigkeit mögen Bauteile aus martensitischen korrosionsträg n Edelstählen d n Anforderung n an di  
Seite 4 von 10; Zeichen: HFRS2

UE 299 14.8.02 U1

26.08.99

Korrosionsbeständigkeit genügen. Diese können in geringfügiger Abwandlung der oben beschriebenen Fertigungsweise bearbeitet werden. Im Falle chlorid- oder schwefelhaltiger Atmosphäre neigen Bauteile aus solchen Werkstoffen allerdings zur interkristallinen Sprödbruch-Anfälligkeit.

Bei solchen Beanspruchungen werden Wellen aus Edelstahl-Legierungen mit austenitischem Gefüge bevorzugt. Bei den hier zur Diskussion stehenden Werkstoffen guter Korrosionsbeständigkeit handelt es sich um die austenitischen, die austenitischen ausscheidungshärtbaren und die hoch stickstofflegierten austenitischen Stähle.

Bei den austenitischen Edelstählen werden, abhängig von der Zusammensetzung der Legierung mehrere Korrosionsklassen (A1 – A5) unterschieden. Bekannteste Vertreter ist die A2-Qualität 1.4301 (X5 CrNi 18 10). Bauteile dieser Qualität sind bezüglich der maximal erreichbaren örtlichen Festigkeit auf etwa  $R_m = 1600 \text{ MPa}$  begrenzt. Diese Werte werden durch die Kombination von Kaltverfestigung und verformungsinduzierter Martensitbildung in den am höchsten umgeformten Materialbereichen erzielt.

Die hoch stickstofflegierten austenitischen Stähle erreichen zwar Festigkeitswerte  $R_m > 2000 \text{ MPa}$  bei gleichzeitig sehr guten Korrosionseigenschaften auch in aggressiver Umgebungsmedien, sind jedoch aufgrund ihrer aufwendigen Erzeugung in Druckaufstickungs-Anlagen enorm kostenintensiv und demzufolge für die Produktion von Massenteilen bedingt verwendbar. Der Materialgrundpreis beträgt das ca. 6 – 10 fache der oben angegebenen austenitischen ausscheidungshärtbaren Edelstähle. Gleichzeitig sind Vormaterialien aus solchen druckaufgestickten Werkstoffen schwierig umformbar, wie beispielsweise in den Patentschriften EP 0 545 852 B1 oder EP 0 774 589 A1 beschrieben.

Höherfeste korrosionsbeständige austenitische ausscheidungshärtbare Edelstähle sind bereits bekannt. Bevorzugt eingesetzt werden die Legierungen 1.4310 (X10 CrNi 18 10), 1.4568 (X12 CrNiAl 17 7) und die herstellerspezifischen Varianten.

Bei Bauteilen dieser Legierungen wird im Anschluss an die mechanische Bearbeitung, durch eine mehrstündige Wärmebehandlung, bei Temperaturen  $300^\circ\text{C} < T < 550^\circ\text{C}$  die Ausscheidung intermetallischer Phasen aus dem übersättigten Mischkristall - damit verbunden eine Festigkeitssteigerung, je nach

26.08.99

Legierung, Grad der Kaltumformung und Parameter der Wärmebehandlung bis zu 30% - herbeigeführt. Festigkeiten von  $R_m > 1800$  MPa können realisiert werden. Als Nachteile sind die kostenintensive Wärmebehandlung verbunden mit der Gefahr der Chromcarbid-Ausscheidung zu nennen, die zur Absenkung der Korrosionsbeständigkeit und Erhöhung der Gefahr der interkristallinen Sprödbruchbildung führt. Darüber hinaus wird bei der Wärmebehandlung im Ofen zwangsläufig eine Gefügebeeinflussung der gesamten Welle herbeigeführt. Die partielle Steigerung der Festigkeitseigenschaften, begrenzt auf die versagenskritischen Querschnitte ist damit nicht möglich.

Mit Ausnahme der Offenlegungsschrift DE 198 15 670 A1 ist bislang die Tatsache nicht bekannt, dass bei korrekter Wahl der Anlagentechnik und Verfahrensparameter auch austenitische ausscheidungshärtbare Edelstähle durch induktive Wärmebehandlung in äusserst kurzen Prozess-Zeiten zur Bildung von intermetallischen Phasen und damit zu einer deutlichen Festigkeitssteigerung neigen.

Die in Offenlegungsschrift DE 198 15 670 A1 beschriebene Anwendung einer gewindeformenden Schraube unterscheidet sich von der nachfolgend beschriebenen Erfindung in mehreren Punkten.

Bei einer gewindefurchenden Schraube handelt es sich zwar ebenfalls um ein Massenprodukt, mit besonders starken Querschnittsübergängen und keinesfalls glattflächiger Oberfläche. Für die Gebrauchseigenschaften der beschriebenen Schraube ist es jedoch lediglich erforderlich, dass die als Gewindeflanken bezeichneten Vorsprünge in ihrer Härte zu steigern um einen einmaligen Umformprozess – beim Furchen des Gewindes im Mutternwerkstoff - zu gewährleisten. Die Übertragung der Erkenntnisse auf die vorliegende Erfindung ist keinesfalls naheliegend.

Der beschriebene Stand der Technik zeigt, dass das der Erfindung zugrunde liegende Problem, nämlich eine korrosionsbeständige Welle endlicher Länge, mit im wesentlichen kreisförmigem Voll- oder Hohlquerschnitten unterschiedlicher Durchmesser zu schaffen, die ausschliesslich im Bereich der bei Dauerschwingbeanspruchung versagenskritischen Querschnittsübergänge höchste Härte/Festigkeitswerte aufgrund gezielter thermischer Behandlung aufweist, bislang noch nicht befriedigend gelöst wurde.

26.06.99

Diese Nachteile versucht die vorliegende Erfindung zu beheben.

### 3. Gegenstand der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde eine wirtschaftlich herstellbare korrosionsbeständige Welle endlicher Länge mit im wesentlichen kreisförmigen Voll- oder Hohliquerschnitten unterschiedlicher Durchmesser zu schaffen, die ausschliesslich im Bereich der bei Dauerschwingbeanspruchung versagenskritischen Querschnittsübergänge höchste Härte/Festigkeitswerte infolge thermischer Behandlung und einen günstigen Eigenspannungszustand aufweist.

Erfindungsgemäss wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass für solche Wellen ein auscheidungshärtbarer austenitischer Stahl ausgewählt wird, der einen hohen Gehalt an interstitiell gelöstem Stickstoff (N) aufweist und vorzugsweise folgende chemische Zusammensetzung aufweist:

0,02 - 0,12 % C  
1 - 16 % Mn  
0 - 3 % Mo  
16 - 26 % Cr  
0 - 15 % Ni  
0,2 - 0,9 % N

Durch diese Legierungsanteile erhält der Stahl eine gute Korrosionsbeständigkeit vergleichbar mit A2-Qualitäten. Die Begrenzung des Stickstoffgehaltes entspricht der natürlichen Löslichkeit im Austenit, die mit zunehmendem Mangangehalt ansteigt. Die obere Begrenzung des Kohlenstoff-Gehaltes vermeidet im Zusammenhang mit der induktiven Ausscheidungshärtung weitestgehend die Chromcarbid-Bildung, die sich bevorzugt auf den Komgrenzen einstellen würde und die Anfälligkeit gegenüber interkristalliner Korrosion begünstigt.

Der Werkstoff kann in der bei austenitischen Edelstahl-Legierungen gewohnten Weise, durch Walzen oder Ziehen, auf die gewünschten Vormaterialabmessung verformt werden.

Bei der spannlosen Warm-, Halbwarm-, oder Kaltumformung der Well wird das Vormaterial wahlweise in lösungsgelöht abgeschrecktem (insbesondere bei

26.08.99

Kaltumformung) oder in bereits verfestigtem Werkstoffzustand (bei Warmumformung) eingesetzt.

Sofern die Geometrie der Welle durch spanende Nacharbeit des oben beschriebenen spanlos vorgefertigten Rohlings oder aber ausschliesslich durch spanende Bearbeitung aus dem kreisförmigen Halbzeug in einer erhöhten Vormaterial-Festigkeit eingestellt wird, kann durch entsprechende Druck-Schub-Verformung bei der Zerspannung im Bereich der Querschnittsübergänge bereits eine Festigkeitssteigerung erzielt werden.

Unabhängig von den angeführten Fertigungsarten, -folgen wird durch das Festwalzen der Querschnittsübergänge eine Kaltverfestigung und verformungsinduzierte Martensitbildung ausgelöst, so dass in diesen Bauteilbereichen bereits Festigkeiten  $R_m = 1800 \text{ MPa}$  eingestellt werden können.

Die anschliessende induktive Auscheidungsbehandlung, die bevorzugt bei Temperaturen von  $300^\circ\text{C} < T < 550^\circ\text{C}$  im Bereich der versagensgefährdeten Querschnittsübergänge der Welle vorgenommen wird, kann wahlweise direkt im Anschluss an die spanende Bearbeitung vorgenommen werden, führt jedoch nach einem gezielten Festwalzen zu besonders hoher Festigkeitsteigerung.

Die örtliche Ausscheidungshärtung führt zur Bildung intermetallischer Phasen. Vornehmlich handelt es sich um Nitride und/oder in geringem Umfang Carbide, die zur erwünschten Festigkeits-, bzw. Härtesteigerung um bis zu 30% führen, insbesondere in den bereits durch die mechanische Umformung – spannende Bearbeitung mit hoher Druck-Schub-Verformung oder Festwalzen - am höchsten verfestigten und umgewandelten Gefügebereichen. Eine Einschränkung der Korrosionseigenschaften ist nicht zu erwarten.

Allein diese Wärmebehandlung erlaubt die partielle Festigkeitssteigerung in den versagensgefährdeten Querschnittsbereichen dauerSchwingbeanspruchter Wellen endlicher Länge mit kreisförmigem Voll- oder Hohlquerschnitt.

Die induktive Auscheidungshärtung erlaubt aufgrund der äusserst kurzen Wärmebehandlungszeiten (mehrere Sekunden), einen deutlichen Preisvorteil gegenüber den konventionell, mittels mehrstündiger Ofenerwärmung behandelten Bauteilen.

26.08.99

Die Verfahrensweise und Anlagentechnik der induktiven Wärmebehandlung ist in der Literatur ausreichend beschrieben. Es bedarf an dieser Stelle keiner weiteren Erläuterung.

Bedingt durch die geringen Wärmebehandlungszeiten ist eine äusserst wirtschaftliche Arbeitsweise möglich.

Die Erfindung soll nun mit Hilfe einer Figur erläutert werden:

**Fig. 1:** einteilige Welle mit mehreren Querschnittsübergängen die insbesondere in diesen Bauteilbereichen induktiv ausscheidungsgehärtet ist.

Die in Figur 1 gezeigte Welle 10 besteht aus der austenitischen Edelstahl-Legierung, deren Zusammensetzung in dem zuvor genannten Bereich liegt.

Die einteilige Welle 10 aus Figur 1 weist drei im wesentlichen kreisförmige Wellenabschnitte 12, 16 und 20 auf, die über die Querschnittsübergänge (Rundungsradien) 14 und 18 in den jeweils nächsten Wellenabschnitt übergehen. Die Querschnittsübergänge 14 und 18 stellen die bei Dauerschwingbeanspruchung versagenskritischen Querschnitte dar. In diesen oberflächennahen Bereichen 14 und 18 (siehe Detail-Ansicht B) der Übergangsradien ist die Welle derart behandelt, dass sie eine maximale Festigkeit besitzt.

26.08.09

**Anmelder:**

Dr.-Ing. Heinrich Friederich, Beinstrasse 15, 68649 Gross-Rohrheim, DE  
Dipl.-Ing. Reinhard Schmoock, Wiesengarten 26, 57250 Netphen, DE

**Erfinder:**

Dr.-Ing. Heinrich Friederich, Beinstrasse 15, 68649 Gross-Rohrheim, DE  
Dipl.-Ing. Reinhard Schmoock, Wiesengarten 26, 57250 Netphen, DE

**Hochfeste korrosionsbeständige Welle**

**Schutzzansprüche für Hochfeste korrosionsbeständige Welle**

1. Einteilige Welle mit im wesentlichen kreisförmigen Voll- oder Hohlquerschnitten unterschiedlicher Durchmesser aus korrosionsbeständigem austenitischem Edelstahl, dadurch gekennzeichnet, dass die Welle teilweise ausscheidungsgehärtet ist.
2. Einteilige Welle mit im wesentlichen kreisförmigen Voll- oder Hohlquerschnitten unterschiedlicher Durchmesser aus korrosionsbeständigem austenitischem Edelstahl nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Welle insbesondere im oberflächennahen Bereich ausscheidungsgehärtet ist.
3. Einteilige Welle mit im wesentlichen kreisförmigen Voll- oder Hohlquerschnitten unterschiedlicher Durchmesser aus korrosionsbeständigem austenitischem Edelstahl nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Welle insbesondere im randschichtnahen Bereich der Querschnittsübergänge ausscheidungsgehärtet ist.

26.08.99

4. Einteilige Welle mit im wesentlichen kreisförmigen Voll- oder Hohl-Querschnitten nach Anspruch 1 –3 , gekennzeichnet durch eine chemische Zusammensetzung von:

0,02 - 0,12 % C

1 – 16 % Mn

0 - 3 % Mo

16 – 26 % Cr

0 – 15 % Ni

0,2 - 0,9 % N

26.06.99

4. Zeichnungen

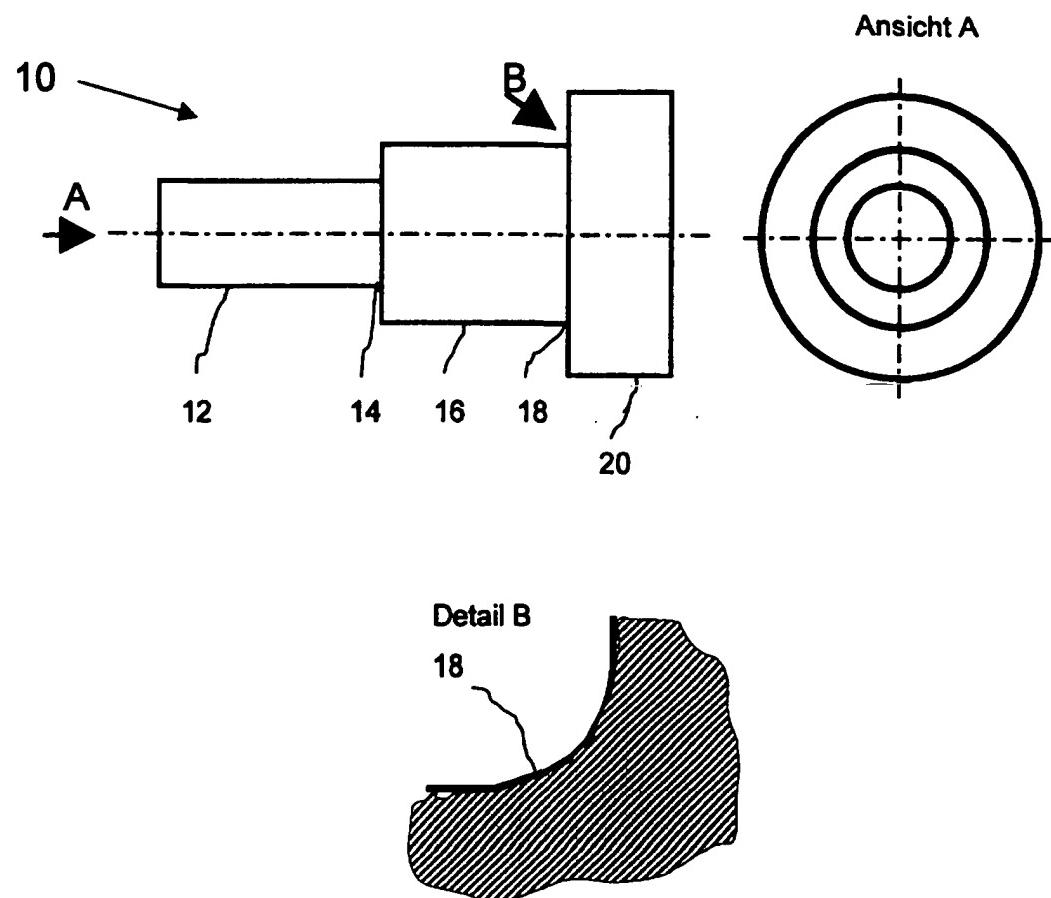


Fig. 1

Sitz 10 von 10; Zeichen: HFRS2

DE 299 14 602 U1